

# Untersuchung der Wirbelkörpergeometrie im Lendenwirbelbereich

Linh Hoang<sup>\*)</sup>, Norbert Babel

Hochschule für Angewandte Wissenschaften Landshut, Fakultät Elektrotechnik, Am Lurzenhof 1, 84036 Landshut

<sup>\*)</sup> Corresponding author: E-Mail: [s-dhoang@haw-landshut.de](mailto:s-dhoang@haw-landshut.de)

## Schlüsselwörter:

Wirbelkörperersatzimplantat, Wirbelkörperendplatten, Wirbelwinkel, Endplattenmorphologie, Wirbelendplattenhöhenprofil

## Zusammenfassung

Ziel der Untersuchungen ist die Gewinnung von Geometriedaten von humanen Lendenwirbelsäulen auf Basis von CT-Daten, die im STL-Format vorliegen, zur Entwicklung von individualisierten Wirbelkörperimplantaten.

Im Fokus der Untersuchung steht die Bestimmung der Endplattengrößen, die Winkellage der Wirbelkörperendplatten eines oder mehrerer Wirbelkörpersegmente zueinander, sowie die kaudale und kraniale Endplattenmorphologie zur Darstellung eines Endplattenhöhenprofils.

Die Ergebnisse variieren bei den Endplattenflächen zwischen den Wirbeln TH12 kaudal und dem Sacrum S1 kranial von minimal 1099 mm<sup>2</sup> und einem Maximum von 2184 mm<sup>2</sup>. Die ermittelten Winkel liegen im betrachteten Wirbelsäulenabschnitt zwischen 3,4 ° und 33,5 ° und die maximale Differenz innerhalb eines Endplattenhöhenprofils betrug 4,2 mm.

Die vorliegende Untersuchung unterstreicht die Notwendigkeit einer individualisierten Wirbelkörperprothetik, da Standardwirbelkörperimplantate nur unzureichenden den tatsächlich vorliegenden Wirbelgeometrien gerecht werden.

## 1. Einleitung

Patientenspezifische Implantate, die auf Grundlage von CT-Daten hergestellt werden, finden nach aktuellem Stand der Technik bereits Verwendung, beispielsweise für Osteosynthesplatten bei Frakturen [4]. Im Bereich der Wirbelsäulen Chirurgie sind individualisierte angepasste Wirbelkörperersatzimplantate nicht bekannt. Diese könnten den Problemen, die mit Standardwirbelkörperprothesen einhergehen, wie dem Einsinken in benachbarte Wirbelkörper oder Prothesenmigration [5; 6; 7] entgegenwirken und die Patienten vor Revisionsoperationen oder Schädigungen bewahren.

Ziel der Untersuchung ist die Erhebung von Geometriedaten von Wirbelkörperendplatten im Lendenwirbelbereich (TH 12 kaudal bis S1 kranial), zur Bestimmung der Größe der Endplattenflächen, dem relativen Winkel zwischen zu überbrückenden Wirbelkörpersegmenten und

der Endplattenmorphologie, um anhand der ermittelten Daten Grundlagen für die Entwicklung von individualisierten Wirbelkörperersatzimplantaten zu gewinnen. Auf die Dokumentierung des Überbrückungsabstandes wurde verzichtet, da der Fokus der Untersuchung auf der Endplattengeometrie und –morphologie liegt, mit dem Hintergrund individualisierte Endplatten für Standardimplantate zu entwickeln.

## 2. Material und Methoden

### 2.1 Datenerhebungen

Für die Untersuchung sind fünf, aus CT-Daten generierte, und in das STL-Format (Surface Tessellation Language) übergeführte Datensätze von Lendenwirbelsäulen von der Onlineplattform NIH 3D Print Exchange [3] heruntergeladen und mit dem CAD-Programm CREO Parametric, Version 4.0 M50 [1], analysiert und bearbeitet worden.

Datensatz 4 weist eine Wirbelfraktur am Wirbel L1 auf und bei Datensatz 5 handelt es sich um eine Skoliose-Deformation der Wirbelsäule. Leider sind keine Angaben über Patientendaten, wie Alter, etwaige Krankheitsbilder, Geschlecht oder Todesursache bekannt, was aber die vorliegende Untersuchung nicht wesentlich beeinflusst.

### 2.1 Ermittlung der Endplattenflächengröße

Die Ermittlung der Größe der Endplattenfläche erfolgte durch die Projektion des äußersten Endplattenrandes auf eine, zur jeweiligen Endplatte paralleler Ebenen, die an den höchsten Punkten der Endplattenränder tangieren. Auf diese Weise sind alle kaudalen und kranialen Umriss der Wirbelkörperendplatten von L1 bis L5, inklusive von Th12 kaudal und S1 kranial nachskizziert und daraus die Größe der Flächen bestimmt worden (Abb. 1).



Abb. 1: Beispiel für projizierte Endplattenflächen

## 2.2 Ermittlung der Wirbelzwischenwinkel

Zur Ermittlung der Relativwinkel zwischen den betrachteten Segmenten sind die in 2.1 beschriebenen Endplattenebenen herangezogen worden und der Winkel zwischen den Ebenen oberhalb und unterhalb der zu überbrückenden Segmente ermittelt worden (Abb. 2). Dabei

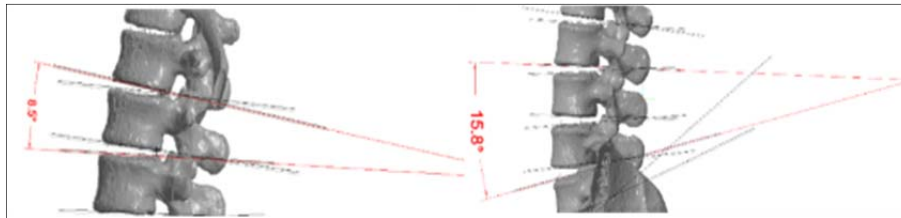


Abb. 2: Schema der Ermittlung der Wirbelwinkel. Links Überbrückung eines und rechts von zwei Segmenten

wurde in einem ersten Schritt die Überbrückung von einem, und anschließend von zwei Wirbelsegmenten betrachtet.

## 2.3 Erstellung des Höhenprofils

Die Höhenprofilerstellung wird am Beispiel des L4-Wirbelkörpers erklärt. Im dreidimensionalen Raum werden für einen Punkt die drei Koordinaten X, Y und Z benötigt. Dafür ist die Wirbelendplattenoberfläche zunächst in X- und Y-Richtung in eine Matrix mit 5 x 5 mm unterteilt

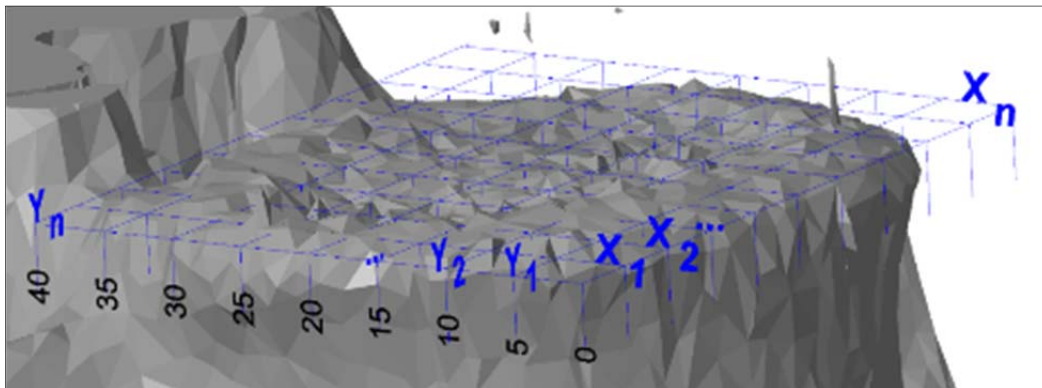


Abb. 3: 5 x 5 mm Matrixunterteilung in der X-Y-Ebene der Wirbelkörperoberfläche

worden (Abb. 3).

Die X-Koordinaten werden durch parallele Lateralebene im Abstand von 5 mm festgelegt. In den Schnittansichten der einzelnen  $X_0$  bis  $X_n$ -Ebenen können dann die Werte für die Z-Koordinaten ermittelt werden. Ausgehend von der horizontalen Endplattenebene aus 2.1 als Nulllinie (tangieren an den höchsten Punkten der Endplattenränder) werden die Z-Tiefenwerte durch Messen der orthogonalen Abstände zur Wirbelkörperoberfläche abgelesen (Abb. 4). Dies geschieht ebenfalls im 5 mm Abstand, in Y-Richtung

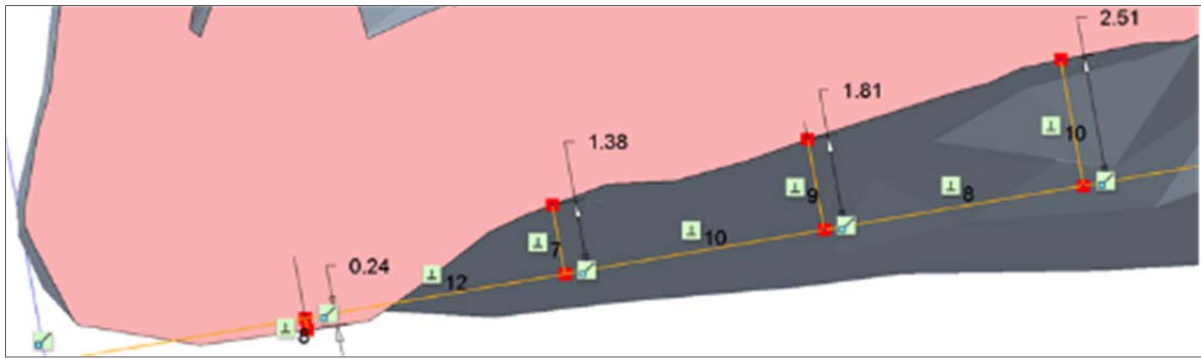


Abb. 4: Schnittansicht einer X-Ebene zur Z-Abstandsmessung ausgehend von der tangierenden Endplattenebene

Die Darstellung der Ergebnisse der Höhenprofile erfolgte mit der Software MATLAB [2] in einem dreidimensionalen Koordinatensystem. Die Werte sind dafür zunächst in MATLAB aus einer Exceldatei eingelesen und als Matrix gespeichert worden. Durch die Interpolationsfunktion „scatteredInterplolant (x,y,z)“ der Messwerte X, Y und Z innerhalb von MATLAB wird anschließend approximativ eine analytische Funktion berechnet, welche die einzelnen Messpunkte grafisch miteinander verbindet und die daraus gezeichneten Interpellanten stellen die Gesamtmorphologie der Wirbelkörperendplatte dar. Eine exemplarische Darstellung der Endplattenmorphologie aufgrund der beschriebenen Messungen zeigt Abb. 5.

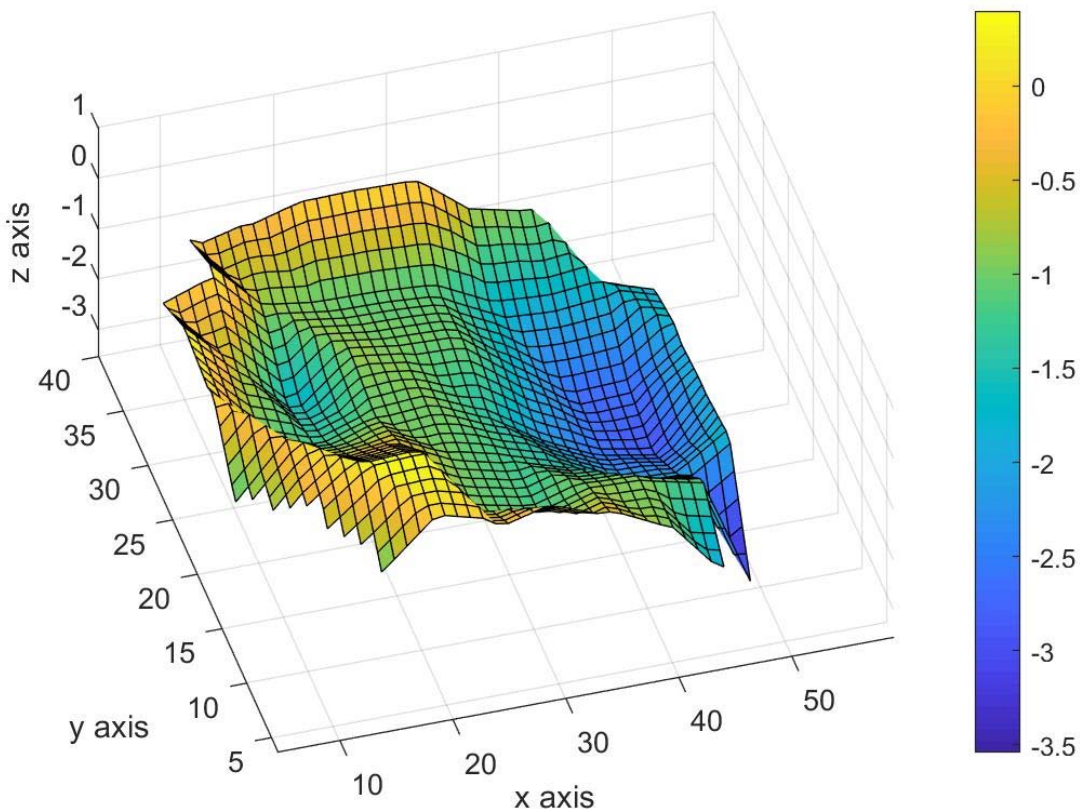


Abb.5: Morphologie der kranialen Endplatte eines Wirbelkörpers

### 3. Ergebnisse

#### 3.1 Endplattengrößen

Die Größe der Endplattenflächen variieren zwischen einem Minimalwert von 1099 mm<sup>2</sup> und dem Maximalwert 2184 mm<sup>2</sup>. Die Mittelwerte mit den Standardabweichungen über die Endplatten sind in Abb. 6 grafisch dargestellt. Über den Verlauf von Th12 kaudal nach S1 kranial kann ein Verlaufsmuster sowohl im Mittel als auch bei der einzelnen Betrachtung der Datensätze beobachtet werden. Die Flächengrößen nehmen in kaudaler Richtung erst zu, erreichen im L3 kranial ein Maximum und nehmen dann wieder ab (Abb. 6).

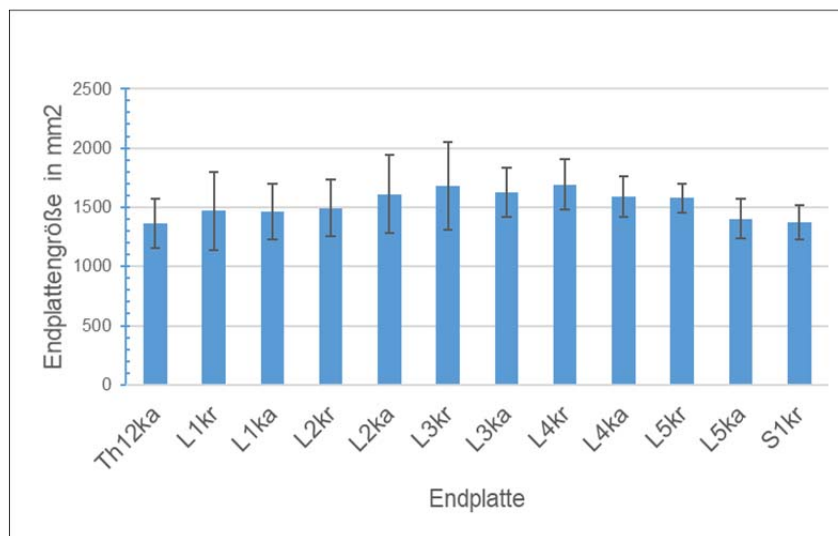


Abb. 6: Diagramm Mittelwert und Standardabweichung in mm<sup>2</sup> über die Endplatten

#### 3.2 Wirbelzwischenwinkel

Wie in Abschnitt 2.2 beschrieben ist der Winkel zwischen angrenzenden Deckplatten oberhalb und unterhalb von zu überbrückenden Segmenten ermittelt und ausgewertet worden (Abb. 7). Dabei wurde in einem ersten Schritt die Überbrückung von einem, und anschlie-

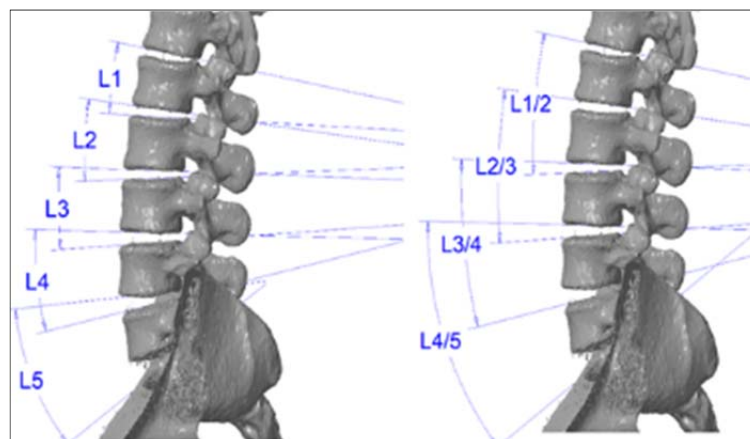


Abb. 7: Schema der Winkelauswertung: links Überbrückung von einem Wirbel- und rechts bei der Überbrückung von zwei Wirbelsegmenten

ßend von zwei Wirbelsegmenten betrachtet.

Die Winkelverteilungen sind in den Diagrammen von Abb. 8 dargestellt. Für alle Datensätze steigt der zu überbrückende Winkel in Richtung kaudal. Äquivalent dazu ist auch die Winkelverteilung bei der Messung über zwei Wirbelkörper. Eine Auffälligkeit zeigt sich mit dem negativen Winkel im L1- Wirbelkörper des Datensatz 4, was auf die Fraktur an dieser Stelle zurückzuführen ist.

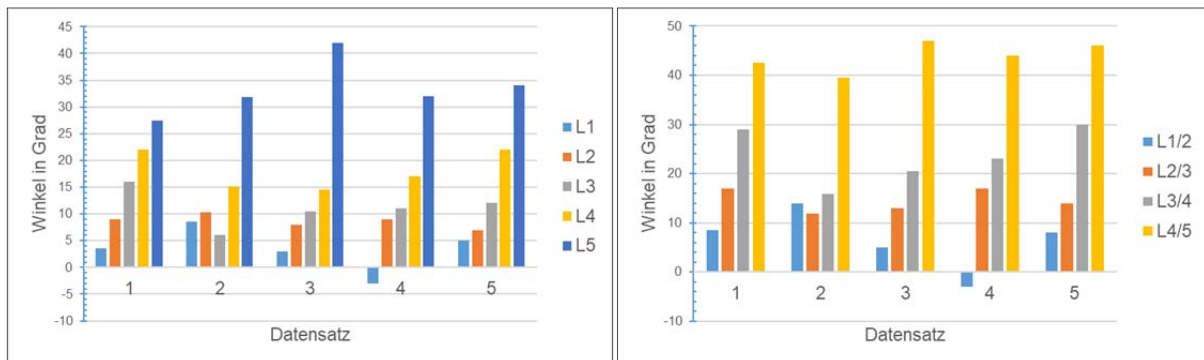


Abb. 8: Diagramm Winkelverteilung in den betrachteten Datensätzen; links Überbrückung von einem Wirbel- und rechts bei der Überbrückung von zwei Wirbelsegmenten

### 3.3. Höhenprofildarstellung

Die Darstellung von zwei Höhenprofilen in Abb. 9 zeigt die Komplexität der Morphologie der Endplattenoberflächen. Die konkave Morphologie ergab sich hauptsächlich bei den kaudalen Wirbeloberflächen.

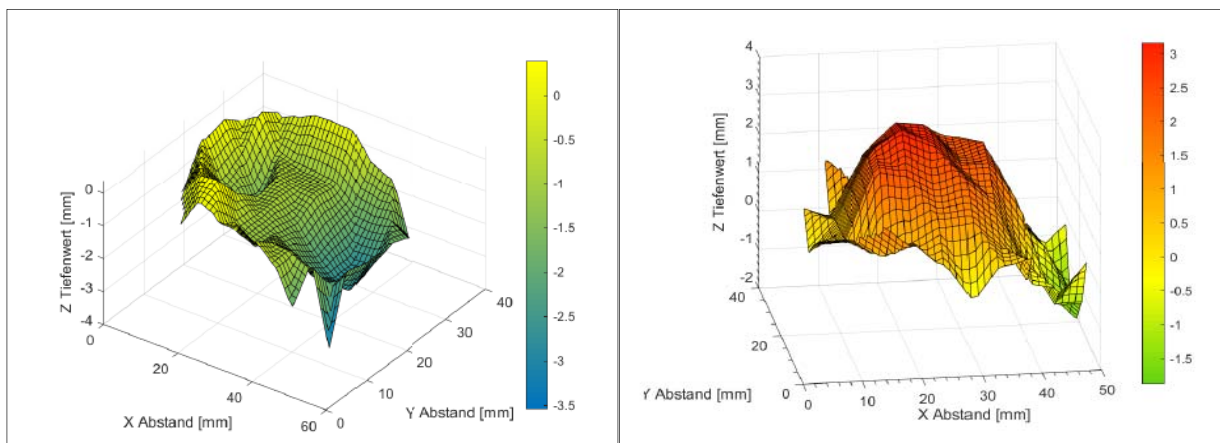


Abb. 9: Beispiele für die komplexe Morphologie an drei verschiedenen Endplattenhöhenprofilen

#### **4. Diskussion der Ergebnisse**

Durch die vorliegende Untersuchung werden Geometriedaten zur Entwicklung von individualisierten Wirbelkörperersatzimplantaten bereitgestellt. Obwohl es sich bei den fünf untersuchten Datensätzen nur um eine relativ kleine Stichprobe handelt, stellt die Untersuchung einen wichtigen Beitrag dar, da nur sehr wenige Untersuchungen in dieser Richtung vorliegen, die sich wiederum schwerpunktmäßig nur auf die Endplattengröße im Rahmen von Wirbelsteifigkeitsuntersuchungen [8; 9] konzentrieren. Hier zeigte sich jedoch eine gute Übereinstimmung mit den dort publizierten Werten [8; 9].

Leider sind keine Informationen bezüglich des Alters und des Geschlechts, sowie etwaige Krankheitsbilder bekannt, sodass nur eine eingeschränkte Kausalität aus den ermittelten Werten geschlossen werden kann.

Hinsichtlich der Messung des Höhenprofils der Wirbelkörperendplatten könnten noch Optimierungen erfolgen, da die Endplattenebenen, die als Referenzen für die Koordinatenwerte dienten, nur lateral an die Wirbelkörperoberfläche angepasst waren. Dadurch ist die Referenzebene von ventral nicht genau parallel zur Oberfläche, wodurch eine Verschiebung der Tiefenwerte (z) verursacht wird und so zu asymmetrischen Höhenprofilen geführt hat.

#### **5. Fazit**

Die Ergebnisse zeigen recht deutlich die Bandbreite und entsprechende Tendenzen der Wirbelgeometriedimensionen und -morphologien und bestätigen, dass die heute verwendeten Standardimplantate, eine recht ungenügende Versorgung der Patienten darstellt. Dies wird insbesondere bei der Betrachtung der Morphologie deutlich sichtbar.

Da es zur Zeit nur sehr wenige Untersuchungen bezüglich Wirbelwinkel und –morphologie gibt [4; 5; 8; 9] sind weitere, umfangreiche Datenerhebungen und Analysen der Wirbelsäulengeometrie erforderlich sind, welche durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung unterstützt wird [6], um in Zukunft zu einer Verbesserung der aktuellen Wirbelkörperimplantatversorgung, bis hin zur Möglichkeit der Bereitstellung von vorgefertigten Rohlingen für individuell angepasste Endplatten für Wirbelkörperersatzimplantate zu gelangen, um in Zukunft die Zahl der Revisionsoperationen merklich zu verringern.

#### **Interessenskonflikte**

Es besteht kein Interessenskonflikt, in Form von Abhängigkeiten oder Unterstützungen durch Firmen oder etwaige Geldgeber.

## Literaturnachweis

- [1] CREO Parametric, Version 4.0, Wochenversion M50  
Fa. Parametric Technology Company (PTC), Houston, Texas, USA
- [2] MATLAB: The Mathworks, Inc., Version R2019a  
Fa. Parametric Technology Company (PTC), Houston, Texas, USA
- [3] NIH 3D Print Exchange:  
<https://3dprint.nih.gov>  
Letzter Zugriff: 23.04.2019
- [4] Riecke, B.: „Individualisierte Implantate auf der Basis digitaler Daten“ in Trauma und Berufskrankheit. Volume 20 (2), 2018
- [5] N. Babel: „Beitrag zur Entwicklung eines Wirbelkörperimplantats unter Einbeziehung der individuellen, vertebrealen Endplattenmorphologie und Steifigkeit sowie konstruktiver und fertigungstechnischer Aspekte“, Universität Rostock – Fachgebiet Biomechanik, Dissertation 2013
- [6] Bundesministerium für Bildung und Forschung  
Patienten-Spezifische Wirbelkörperersatzimplantate zur segmentalen Stabilisierung der Wirbelsäule (EITPSI)  
<https://www.gesundheitsforschung-bmbf.de/de/patienten-spezifische-wirbelkorperersatzimplantate-zur-segmentalen-stabilisierung-der-8684.php>  
Letzter Zugriff: 14.10.2019
- [7] Mark P. Arts, M.D.; Wilco C. Peul, M.D., Ph.D.  
Vertebral body replacement systems with expandable cages in the treatment of various spinal pathologies: A prospectively followed case series of 60 patients.  
Neurosurgery Volume 63, Number 3, September 2008 | S. 537 – 545
- [8] MOSEKILDE, LIS; MOSEKILDE LEIF:  
Normal Vertebral Body Size and Compressive Strength: Relations to Age and to Vertebral and Iliac Trabecular Bone Compressive Strength.  
Bone: Journal of the International Bone and Mineral Society (IBMS); Volume 7 Issue 3: Page 207 - 212; 1986
- [9] PANJABI, M.M.; GOEL, V.; OXLAND, T.; TAKATA, K.; DURANCEAU, J.; KRAG, M.; PRICE, M.:  
Human Lumbar Vertebrae. Quantitative Three-Dimensional Anatomy.  
Spine, Volume 17 (3); Page: 299 - 306; 1992